



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

AURINKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄN TEHOKKUUDEN MÄÄRITYS

Jaakko Pykäri

PROSESSITEKNIikka

Kandidaatintyö

Kesäkuu 2021

TIIVISTELMÄ

Aurinkolämpöjärjestelmän tehokkuuden määrittäminen

Jaakko Pykäri

Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2021, 30+4 s.

Työn ohjaaja(t) yliopistolla: Aki Sorsa, Mika Ruusunen

Tässä työssä tutkimuksen kohteena ovat aurinkolämpöjärjestelmät ja erityisesti tyhjiöputkikeräimet. Työn teoriaosassa on katsaus auringon säteilyyn, jonka jälkeen selvitetään aurinkolämpöjärjestelmän toimintaa. Kun systeemin perusta tunnetaan, saadaan tyhjiöputkikeräimen teorian avulla muodostettua kokonaisuus, jota voidaan hyödyntää mittaustiedon tarkastelussa. Oleellisia laskennallisia menetelmiä aineiston käsittelyä varten käydään läpi teoriaosuuden lopussa ja samassa kerrotaan myös tulosten tulkintaa helpottavista seikoista, jotka liittyvät säähän ja järjestelmän asennukseen. Laskennallisessa osuudessa kerättyä dataa havainnollistettiin erilaisten kuvaajien avulla ja keskimääräiseksi hyötysuhteeksi määritettiin 0,369, neliömetritehoksi 54 wattia ja moduulitehoksi 409 wattia. Pohdinta perustuu saatuihin tuloksiin ja siinä hyödynnetään teoriaa sekä aineiston luotettavuuden tarkastelua. Lopuksi todetaan työssä käytettävän datan sisältävän runsaasti epätarkkuustekijöitä, mutta kohteena olevan järjestelmän kannalta tarkkuus on riittävä.

Asiasanat: tyhjiöputkikeräin, hyötysuhde, tehokkuus, tuotto

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	7
1.1 Auringon säteily	7
1.2 Aurinkolämmön hyödyntäminen	8
2 Aurinkolämpöjärjestelmän toiminta	9
2.1 Aurinkokeräin	9
2.2 Pumppuyksikkö	10
2.3 Ohjausyksikkö	10
2.4 Varaaja ja lämmönsiirrin	10
2.5 Paisunta-astia	11
2.6 Putkisto	11
2.7 Varolaitteet	12
3 Tyhjiöputkikeräin	13
3.1 Yleistä	13
3.2 Heat pipe -malli	14
3.3 Läpivirtausmalli	15
3.4 Tasokeräimen ja tyhjiöputkikeräimen vertailua	15
4 Tyhjiöputkikeräimen tehokkuus	16
4.1 Vaikuttavia tekijöitä	16
4.1.1 Sijainti ja suuntaus	16
4.1.2 Sää	17
4.1.3 Keräimen ja muun järjestelmän rakenne	17
4.2 Keräimen pinta-ala ja tehokkuuden arviointia	17
4.2.1 Pinta-ala	18
4.2.2 Tehokkuuden laskenta	18
5 Datan tarkastelu	20
5.1 Säädata	20
5.1.1 Ilman lämpötila	20
5.1.2 Lumen syvyys ja sademäärä	21
5.2 Säteilydata	22
5.3 Keräimen ominaisuudet	23
5.4 Keräimen data	24
6 Tuoton sekä tehon laskenta ja tulokset	25
6.1 Kuukausituotto	25
6.2 Hyötysuhde ja teho	26

7 Johtopäätökset	28
7.1 Tuoton analysointi.....	28
7.2 Hyötysuhde ja tehot.....	28
7.3 Epätarkkuuksien arviointia.....	29
8 Yhteenveto	30
Lähteluettelo.....	31

MERKINNÄT JA LYHENTEET

A_A	keräimen apertuuripinta-ala
E_e	auringon säteilyn teho neliömetriä kohden
k_1	lineaarinen lämmönläpäisykerroin
k_2	toisen potenssin lämmönläpäisykerroin
P_A	moduulin teho neliömetriä kohden
P_M	moduulin teho
ΔT	ympäristön ja keräimen keskilämpötilan välinen lämpötilaero
η_0	optinen hyötysuhde
η	hyötysuhde

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on selvittää aurinkojärjestelmien ja erityisesti tyhjiöputkikeräimen perustoimintaperiaate sekä analysoida tyhjiöputkikeräinjärjestelmän lämpöenergian tuottoa ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Työn teoriaosuuden koontiin on käytetty pääasiassa aurinkojärjestelmiin perehtyneiden yritysten verkkosivuja ja alaan liittyvää ”tee se itse” -projekteissa käytettävää kirjallisuutta. Datan analysoinnissa on hyödynnetty eräästä omakotitalokokoluokan tyhjiöputkikeräimestä saadun mittausaineiston lisäksi sääpalveluista saatavaa mittaustietoa. Pohdinnan ja johtopäätöksiä apuna on käytetty Excelillä tehtyjä kuvaajia, jotka on muodostettu edellä mainituista aineistoista.

Aurinkoenergia on yksi uusiutuviin energialähteisiin lukeutuva energiamuoto. Sitä pystytään hyödyntämään erilaisilla menetelmillä ja monet muut energialähteet ovat siitä suoraan tai epäsuorasti riippuvaisia. Seuraavaksi tehdään katsaus auringon säteilyyn ja sen hyödyntämiseen ennen aurinkolämpöjärjestelmän rakenteen tarkastelua.

1.1 Auringon säteily

Auringon säteily on elektromagneettista säteilyä. Siihen kuuluvat muun muassa ultraviolett-, infrapunasäteily ja näkyvä valo. Näillä eri säteilytyypeillä on omat taajuudet ja aallonpituudet. Maanpinnalle tulevan säteilyn taajuus on sadan nanometrin ja yhden millimetrin välissä ja se kattaa juuri edellä mainitut säteilytyypit. (Fondriest 2014)

Ilmakehän ulkopuolella auringonsäteilyn teho kohtisuoralle pinnalle neliometriä kohden on vähän vajaa 1,4 kW, mutta ilmakehän läpi tultaessa teho putoaa noin 60 prosenttia. Tämä johtuu ilmakehässä olevista hiukkasista ja molekyyleistä. Mitä pidemmän matkan auringonsäteily joutuu ilmankehän läpi menemään, sitä enemmän teho putoaa. Tästä syystä esimerkiksi Suomessa säteilypotentiaalin ero pohjoisempien ja eteläisempien paikkojen välillä on yli 100 kWh neliometriä kohden. (Erat ym. 2008, s.11-13)

Aurinkoenergian kannalta säteilyn voi jakaa kolmeen eri ryhmään: suorasäteilyyn, hajasäteilyyn ja heijastuneeseen säteilyyn. Suorasäteily on auringosta suoraan tulevaa

säteilyä, hajasäteily on ilmakehänhiukkasista siroannutta säteilyä ja heijastunut säteily on maanpinnasta heijastuvaa. (Erat ym. 2008, s.28)

1.2 Aurinkolämmön hyödyntäminen

Aurinkolämmön kerääminen on yksi tyypillisistä auringon hyödyntämisen muodoista. Hyödyntäminen voi olla joko passiivista tai aktiivista. Passiivisessa hyödyntämisessä pyritään auringon säteilyenergiaa varastoimaan esimerkiksi talon rakenteisiin rakennuksen sijoittelun tai seinän materiaalivalinnan avulla. Aktiivisessa mallissa käytetään aurinkokeräinjärjestelmiä keräämään ja varastoimaan auringosta saatavaa energiaa. (Erat ym. 2008, s.52&72)

2 AURINKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄN TOIMINTA

Aurinkolämpöjärjestelmien tehtävänä on kerätä auringon säteilyenergiaa ja muuttaa sitä lämpöenergiaksi, joko suoraan käytettäväksi tai varastoon. Tyypillisesti lämmityksen kohteena ovat käyttövesi tai lattialämmitys, mutta aurinkolämpö soveltuu hyvin myös esimerkiksi ulkouima-altaiden lämmitykseen kesällä. Koska lämmityksen tarve vaihtelee muun muassa sään vaikutuksesta, on lämmönvarastointi järkevää lämpötilan stabiilina pitämisen kannalta. (Motiva 2020a,b,c)

Varsinkin hankalan sijainnin takia Suomen leveysasteilla aurinkolämpöjärjestelmä mitoitetaan yleensä kattamaan noin puolet lämpimän käyttöveden lämmityksestä, jolloin joudutaan turvautumaan hybridijärjestelmään (Motiva 2020a,b,c). Hybridijärjestelmässä käytetään vähintään kahta eri lämmönlähdettä, kuten vaikka aurinkolämpöä ja sähkölämmitystä. Tavoitteena on vähentää ostoenergiaa nostamalla omavaraisenergian osuutta. (Ekolämmöx 2021)

Aurinkolämpöjärjestelmät voidaan jakaa nestekiertoisiin ja ilmakiertoisiin. Ilmakiertoisilla keräimillä on etunsa, kuten nopea lämpeneminen ja vaarattomuus vuodon sattuessa. Nesteellä toimiviin keräimiin nähden niiden lämpökapasiteetti on kuitenkin pieni ja säädettävyyks heikompi, jonka takia nestekiertoiset järjestelmät ovat monessa tapauksessa järkevämpi ratkaisu. Keräinpiirissä oleva lämmönsiirtoneste koostuu tavallisesti vedestä ja propyleeniglykolista, joka alentaa jäätymispistettä ja nostaa kiehumispistettä. Pelkkää vettä käytettäessä on putkisto ja absorptioelementit tyhjennettävä lämpötilan mennessä alle 0 °C:n. (Motiva 2020d&e)

2.1 Aurinkokeräin

Nestekiertoiset keräimet voidaan jakaa taso- ja putkikeräimiin niiden tyypin mukaan. Tasokeräimen toiminta perustuu keräimessä olevan tumman metalli- tai muovielementin auringon säteilyn absorboimiseen. Elementin alapuolella on putket, joissa kiertää aurinkolämpöjärjestelmän neste, johon elementin lämpö siirtyy johtumalla. Tasokeräinten kattamiseen käytetään läpinäkyvää, vähärautaista lasia tai muovia, minkä tarkoituksena on minimoida lämpöhäviöt. Myös pohjan ja sivujen tarkka eristäminen

vähentää lämmön emissiota ympäristöön. (Motiva 2020d&f; Jodat Ympäristöenergia Oy 2021a)

Tyhjiöputkikeräimissä tyhjiö toimii eristeenä ja pienentää hyvin lämpöhäviöitä. Läpivirtauksella toimivissa tyhjiöputkissa neste kiertää u-muotoisen putken läpi tai koaksiaaliputkessa. Tämän lisäksi on heat pipe -putkia, joissa oleva neste välittää johtumalla lämmön järjestelmään. (Motiva 2020h)

2.2 Pumppuyksikkö

Pumppuyksikön tehtävänä on lämmönsiirtonesteen kierrätys järjestelmässä ja estää keräimen ja varaajan välisen nesteen vapaakierto. Pumppuyksikköön kuuluu kiertovesipumpun sulku-, takaisku- ja varoventtiilit sekä mittarit paineen, lämpötilan ja virtauksen mittaamiseen. (Jodat Ympäristöenergia Oy 2021a)

2.3 Ohjausyksikkö

Lämpöjärjestelmän säätäminen tapahtuu ohjausyksikön avulla. Tyypillisesti järjestelmässä on kaksi lämpötila-anturia, jotka mittaavat keräimen ja varaajan lämpötiloja. Näiden välisen lämpötilaeron avulla ohjausyksikkö pystyy määrittämään pumpun kiertonopeuden sopivaksi. Ohjausyksiköihin voidaan myös integroida muita systeemin kannalta olennaisia toimintoja, kuten energiamittaus tai koko lämmitysjärjestelmän ohjaus. (Jodat Ympäristöenergia Oy 2021b)

2.4 Varaaja ja lämmönsiirrin

Lämpö otetaan talteen systeemistä kiertävästä nesteestä varaajassa, joita on kahden tyyppisiä. Vedenlämmittimet toimivat korkeassa rakennepaineessa ja lämpötilassa lämmittäen käyttövetä sähkövastusten avulla. Tyypillisesti niiden koko on 50 – 300 litraa. Varaaja-nimitystä käytetään, kun laitteen tehtävänä on edellisen ohella toimia osana lämmitysjärjestelmää esimerkiksi siten, että varaajassa lämmitettävä vesi kiertää myös talon lämpöpattereissa. Varaajan koko on silloin yleensä 500 litrasta 3000 litraan ja sen rakennepaine on matala. (Erkkilä 2003, s.52)

Yleensä lämmönsiirto tapahtuu varaajan pohjalla olevan kampakupariputkikierukan kautta. Parhaan hyödyn saavuttamiseksi pyritään varaajaan saamaan kerrosteinen lämpötila. Tämä onnistuu hyvin, kun asennetaan yläosassa olevan lämminkäyttövesikierukan lisäksi esilämmityskierukka. Varaajan pitkä ja kapea muoto on myös eduksi. Toinen tapa varaajan veden lämmittämiseen on ulkoinen levylämmönsiirrin, joka kytketään varaajan puoliväliin, mikäli veden kerrostuneisuutta ei ohjata. (Erkkilä 2003, s.52; Erat ym. 2008, s. 98)

2.5 Paisunta-astia

Aurinkolämpöjärjestelmässä muodostuu painetta nesteen tilavuuden muuttuessa lämpötilan vaikutuksesta. Painetta voidaan tasata paisunta-astian avulla, joka on asennettu putkiston takaisinvirtaavaan osaan pumpun jälkeen. Tyypillisesti paisunta-astia pitää pystyä ottamaan vastaan noin kymmenen prosenttia nesteen tilavuudesta lämpöjärjestelmissä, mutta aurinkolämpöjärjestelmissä mukaan pitää lisätä vielä keräimen ja yläputkiston tilavuudet. (Jodat Ympäristöenergia Oy 2021c)

2.6 Putkisto

Aurinkolämpönesteen kulkeutumisesta lämmönsiirtimen ja keräimen välillä vastaa putkisto. Putkiston tulee kestää voimakkaita lämpötilan muutoksia. Talvella ulkona olevissa osissa nesteen lämpötila voi tippua $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteeseen, kun taas korkeimmat lämpötilat yltävät $+140\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteeseen. Tästä syystä putkiston materiaalina käytetään tavanomaisesti pehmeää tai kovaa kuparia. Pehmeää kuparia käytettäessä mutkiin ei tarvitse tehdä liitoksia hyvän muovattavuuden takia, jolloin painehäviöt pysyvät alhaisena ja pumppaaminen kuluttaa vähemmän energiaa. Toisaalta pehmeästä kuparista valmistetut putket eivät välttämättä täytä vaatimuksia esteettisesti sellaisenaan ja eristeinä tulee olla joustavia materiaaleja. (Erkkilä 2003, s.41–43)

Itse putkien, putkikiinnikkeiden ja lämmöneristyksen lisäksi putkisto tarvitsee myös ilmapoistimen, joka asennetaan järjestelmän korkeimpaan kohtaan. Ilmapoistimen säiliön tulee olla tarpeeksi tilava ja laitteen pitää kestää korkeaa lämpötilaa, ettei sen koho sula. (Erkkilä 2003, s.41–43)

2.7 Varolaitteet

Varaajat varustetaan varoventtiilillä, joka avautuu paineen ylittäessä 2–6 baarin rajan. Jos puolestaan lämpötila ylittää ohjausyksikköön asetetun suurimman sallitun arvon, keräinpiirin pumppu pysäytetään kuumenemisesta syntyvien vahinkojen minimoimiseksi. (Erat ym. 2008, s.98)

3 TYHJIÖPUTKIKERÄIN

Nesteiden hyvien lämmönsiirto-ominaisuuksien takia nestekeräin on järkevä ratkaisu lämmitykseen, kun tarkoituksena on hyödyntää auringon säteilyn energiaa aktiivisesti. Tasokeräin ja tyhjiöputkikeräin ovat nestekeräinten päätyypit. Jotta keräimet olisivat mahdollisimman tehokkaita, pyritään niiden lämpöhäviöt minimoimaan. Tasokeräimissä tähän on puututtu asentamalla läpinäkyvä kate, kun taas tyhjiöputkikeräimissä tyhjiön rooli on merkittävässä asemassa lämpöhäviöiden estämisessä. Seuraavaksi käsitelläänkin tyhjiöputkikeräinten malleja ja niiden perusominaisuuksia.

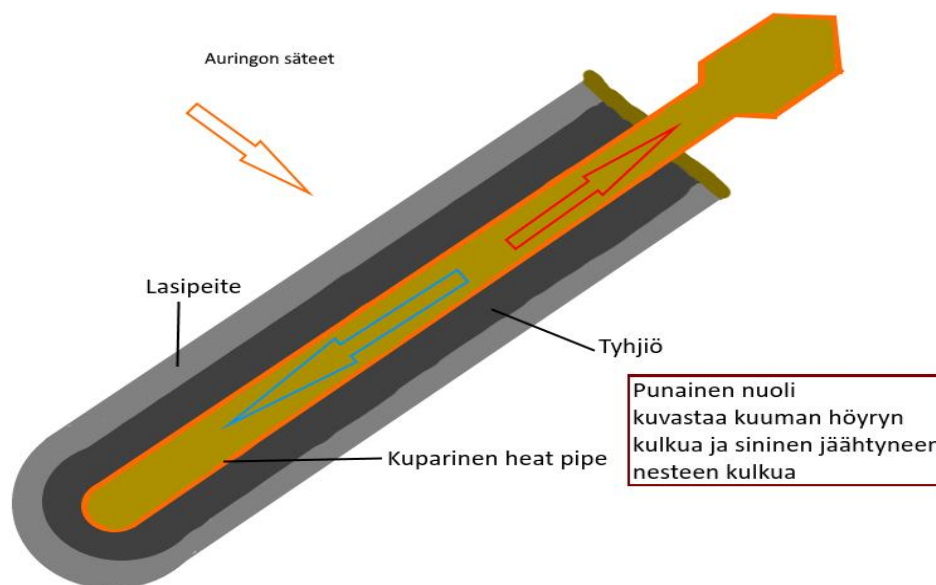
3.1 Yleistä

Tyhjiöputkikeräimet koostuvat useista rinnakkaisista lasiputkista, jotka ovat kiinnitetty kehyksinä toimiviin tulo- ja menoputkiin, joissa lämmönsiirtoneste kiertää. Borosilikaatista tai soodakalkista valmistetut lasiputket ovat sylinterin muotoisia, jotta vähäiselläkin auringon valolla säteet osuisivat kohtisuorasti absorbaattoripintaan. Putkien pituus on valmistajasta riippuen 1500 – 2400 millimetriä ja halkaisija 25 – 75 millimetriä. Uloimman lasin sisäpuolella vallitsee tyhjiö, joka tehokkaasti estää lämmön johtumisen ja säteilyn ympäristöön absorbaattoripinnan lämpötilan kohotessa. Absorbaattoripinta on tasainen tai kaareva alumiinista tai kuparista koostuva levy, jonka tehtävä on absorboida tuleva auringon säteily ja välittää se eteenpäin. Tyhjiöputket voivat olla joko yksi- tai kaksilasisia, mikä vaikuttaa hieman absorbaattorin sijoittamiseen. Keräimessä olevan tyhjiön tehokkuudesta kertoo paljon se, että vaikka sisälämpötila nousee jopa 150 celsiusasteeseen, ulkopuolella oleva lasi voi olla hyvin käsin kosketettavissa. (Alternative Energy Tutorials 2021)

Tyhjiöputkikeräimen taustalle voidaan asentaa joko tasomainen tai kaksi rinnakkaista parabolista heijastavaa pintaa. Näiden avulla saadaan putkien määrää vähennettyä tai vastaavasti tuottoa parannettua, kun sivuilta tuleva säteily saadaan paremmin hyödynnettyä. (Erat ym. 2008, s.83)

3.2 Heat pipe -malli

Heat pipe -menetelmällä toimivissa tyhjiöputkikeräimissä on käytössä useimmissa tapauksissa kuparinen putki, jonka sisällä on matalassa paineessa olevaa alkoholia tai vettä sekä hieman muita korroosiota ja hapettumista ehkäiseviä aineita. Tähän kupariseen putkeen eli lämpöputkeen on liitetty absorbaattorilevy, joka muuttaa auringon säteilyn lämpöenergiaksi. Alhaisen paineen takia lämpöputken sisällä oleva neste höyrystyy normaalia alhaisemmassa lämpötilassa. Höyryksi muuttuva neste kohoaa lämpöputkessa ylöspäin nostaen putken yläosan lämpötilaa, josta saatu lämpötilaa ohjautuu ”kuumaan polttimoon”. Tämä puolestaan välittää lämpöenergian johtumalla aurinkolämpöjärjestelmässä kiertävälle nesteelle, jota virtaa kehyksenä toimivissa putkissa. Lämpöputkessa oleva höyry lauhtuu luovutettuaan lämpöenergiansa putken yläosassa ja valuu alaosaan uudelleen höyrystettäväksi. Höyrystymisestä ja tiivistymisestä johtuvan kiertokulun sujuvan jatkumisen takia lämpöputki pitää olla vähintään 30 asteen kulmassa. Heat pipe -menetelmän hyvä puoli on kuiva lämmönsiirtoliitos. Sen takia yksittäisen putken vaihtaminen on helppoa esimerkiksi sen rikkoutuessa, kun järjestelmän nestettä ei tarvitse tyhjentää. Kuvassa 1 on esitettyä heat pipe -putken rakenne. (Alternative Energy Tutorials 2021)



Kuva 1. Heat pipe -malli havainnollistettuna (mukaillen Onosi 2021).

3.3 Läpivirtausmalli

Toisin kuin heat pipe -mallissa, läpivirtaus menetelmällä toimivassa järjestelmässä ei tapahdu niin sanottua ”kuivaa lämmönsiirtoa”, vaan lämpö siirtyy suoraan lämmönsiirtonesteeseen. Tämän takia läpivirtausmallia pidetään energiatehokkaampana, mutta samalla sen ongelmana on putkien korjaus, mikä vaatii järjestelmän nesteen tyhjentämisen. Läpivirtauksella toimivassa mallissa keräimeen tuleva neste virtaa joko U:n muotoisissa putkissa tai sitten sisäkkäin olevissa koaksaaliputkissa. Kaksilasisissa tyhjiöputkissa lämmönsiirtolevy on kosketuksissa sisemmän lasin absorptiopintaan, kun taas yksilasisissa se on tyhjiön puolella. (Alternative Energy Tutorials 2021; Erat ym. 2008, s.82)

3.4 Tasokeräimen ja tyhjiöputkikeräimen vertailua

Tyhjiöputkikeräimellä on merkittäviä etuja varsinkin pohjoisilla leveysasteilla. Tasokeräimiin verrattuna ne pystyvät hyödyntämään auringon säteilyn paljon tehokkaammin. Tasokeräimet toimivat vain koko tehollaan, kun aurinko paistaa kohtisuorassa, koska kulmassa tulevat säteet heijastuvat pois tasaisesta pinnasta. Tyhjiöputkikeräimillä pinnasta osa on lähes aina kohtisuoraan aurinkoon nähden mahdollistaen energian saannin ilta- ja aamuauringossakin. Tyhjiöputkikeräinten etuna on myös niiden keveys, koska putket eivät ole täynnä vettä, mikä on asentamisen ja suunnittelun kannalta helpottava tekijä. Lämmöneristeenä toimiva tyhjiö parantaa keräimen hyötysuhdetta ja mahdollistaa nesteen lämmittämisen korkeisiinkin lämpötiloihin. Varjopuolena tässä on kuitenkin nesteen liiallinen kuumeneminen, joten varolaitteiden toiminta pitää olla kunnossa. (Alternative Energy Tutorials 2021)

Vaikka tyhjiöputkikeräimet pystyvät toimimaan heikommallakin auringon säteilyllä, ne eivät kuitenkaan toimi lumen peitossa. Hyvänä lämpöeristeenä toimivan tyhjiön takia ulkolasi saattaa jäätyä ja peittyä lumeen talvella herkemmin kuin tasokeräimellä. Tasokeräimien rakenne on myös monesti yksinkertaisempi, joten niiden hinta on luonnollisesti matalampi. (Alternative Energy Tutorials 2021)

4 TYHJIÖPUTKIKERÄIMEN TEHOKKUUS

Aurinkojärjestelmän tehoon vaikuttavat niin keräimen tekniset ominaisuudet, kuin myös asennusvaiheessa tehtävät ratkaisut. Joidenkin ominaisuuksien vaikutuksia voidaan tarkastella sekä käytännössä että teoriassa hyvin selkeästi, kun taas joillakin se on hyvin rajallista. Seuraavaksi käsitellään erilaisia tuottoon vaikuttavia tekijöitä ja malleja sen laskemiselle.

4.1 Vaikuttavia tekijöitä

Aurinkojärjestelmän tehoon vaikuttavat niin keräimen tekniset ominaisuudet, kuin myös asennusvaiheessa tehtävät ratkaisut. Joidenkin ominaisuuksien vaikutuksia voidaan tarkastella sekä käytännössä että teoriassa hyvin selkeästi, kun taas joillakin se on hyvin rajallista.

4.1.1 Sijainti ja suuntaus

Tuottavuuden kannalta aurinkokeräin on sijoitettava sellaiseen paikkaan, johon auringon säteet pääsevät kulkeutumaan esteettömästi suurimman osan päivästä. Tästä syystä aurinkokeräimet sijoitetaan usein katolle ja samalla pyritään välttämään esimerkiksi puiden aiheuttamia varjostuksia. Lämpöhäviöiden pienentämiseksi keräimen tulisi olla mahdollisimman lähellä varaajaa. Tehokkuus on myös parempi, jos asennuspaikka on lämmin ja tuuleton, vaikkakin tyhjiöputkikeräimillä tämän merkitys on pienempi kuin tasokeräimillä. (Erat ym. 2008, s.83)

Suomessa keräimen suuntakulma kannatta ottaa etelään päin, koska silloin keräimen tuotto ulottuu mahdollisimman suurelle osalle päivästä. Lounaaseen tai kaakkoon suuntaaminen voi tulla kysymykseen silloin, kun halutaan painottaa aamu- tai iltapäivää. (Motiva 2020g)

Optimaalinen kallistuskulma on noin 45 astetta, mutta käyttötarkoituksen mukaan tästä voidaan poiketa. Jos kesällä halutaan saavuttaa mahdollisimman suuri hyöty, kallistuskulma voidaan asettaa 30 asteeseen, koska aurinko paistaa ylempää. Kevättä ja syksyä priorisoidessa asennuskulmaksi voidaan ottaa 60 astetta, koska näinä

vuodenaikoina aurinko paistaa alempaa. Suurempaan kulmaan asentamisella pystytään strategisesti välttämään mahdollisia ylikuumenemisiä kesällä ja talvella lumi ei tarraudu keräimeen yhtä helposti. Käytännöllisistä ja ulkonäöllisistä syistä aurinkokeräimet asennetaan kuitenkin usein katon suuntaisesti. (Motiva 2020g; Erat ym. 2008, s.82-83)

4.1.2 Sää

Pilvisyys on yksi vaikuttavimmista tekijöistä aurinkokeräimestä saatavaan tehoon, johon kuluttaja ei pysty puuttumaan. Mitä alempana pilvet ovat, sitä vähemmän ne päästävät säteilyä läpi. Säteilyn määrään vaikuttavat myös pilvipeitteen laajuus sekä paksuus säteilyn tulokulmassa. Eroavaisuuksia pilvisyyksiin aiheuttavat säätyyppi, vuodenaika ja paikka. Esimerkiksi kesällä esiintyy tyypillisesti konvektiopilviä, kun taas talvella pilvirintama on laajempi ja yhtenäisempi. Konvektiopilvet syntyvät tavallisesti sisämaassa keskipäivällä, minkä takia paras tuotto saavutetaankin usein ennen puoltapäivää. (Erat ym. 2008, s.26)

4.1.3 Keräimen ja muun järjestelmän rakenne

Aurinkolämpöjärjestelmän lämpöhäviöt nousevat, kun järjestelmässä kulkevan nesteen sekä järjestelmän ulkopuolisen ilman lämpötilaero kasvaa. Häviötä aiheuttaa myös pitkä matka varaajan ja keräimen välillä. Putkiston huolellinen eristäminen vähentää lämpöhäviöitä huomattavasti. Eristemateriaaliksi sopii esimerkiksi villakouru, jota tulee olla 20 – 30 millimetrin paksuudelta putkissa, jotka kulkevat alhaisessa lämpötilassa. (Erkkilä 2003, s.42)

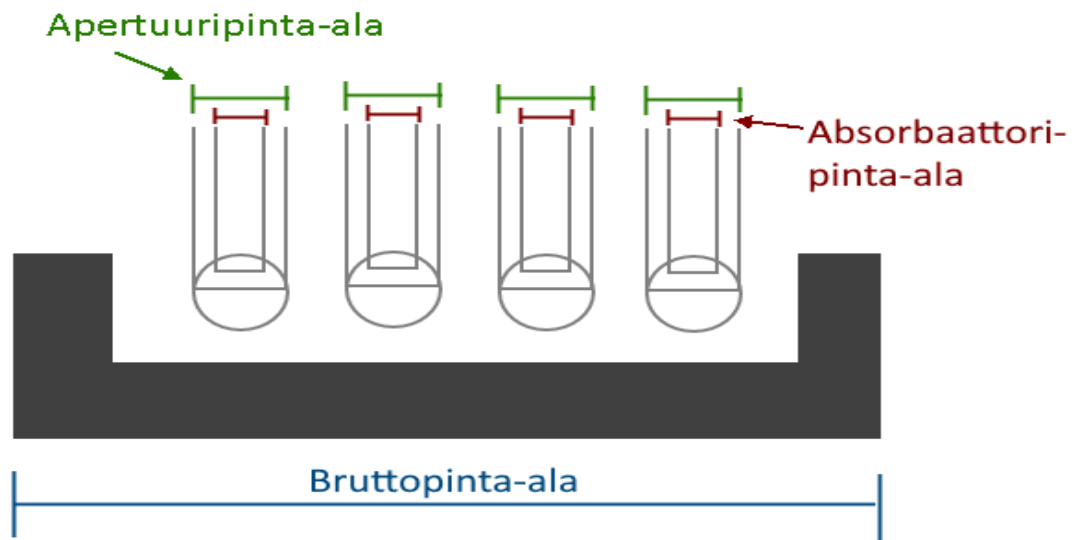
Tyhjiöputkikeräinten etuna tasokeräimiin verrattuna on pienet lämpöhäviöt korkeissa toimintalämpötiloissa tyhjiön eristävän vaikutuksen ansiosta. Tasokeräimissä lämpöä siirtyy herkemmin konvektiona keräimen ulko-osiin. (Erat ym. 2008, s.81)

4.2 Keräimen pinta-ala ja tehokkuuden arviointia

Pinta-alat ovat merkittävässä roolissa keräimen tehon laskennan kannalta. Tässä alakappaleessa käydään läpi laskennan kannalta tärkeimmät kaavat ja pinta-alat.

4.2.1 Pinta-ala

Aurinkokeräimille voidaan laskea kolme eri pinta-alaa kuvan 2 mukaisesti: brutto-, apertuuri- ja absorbaattoripinta-ala. Bruttopinta-alalla tarkoitetaan koko keräimen pinta-alaa ja se lasketaan kertomalla pituus ja leveys ulkomitoista. Apertuuripinta-ala tyhjiöputkikeräimissä on putken toiminnallisen osan pituuden, putken ulkohalkaisijan tai heijastimen leveyden ja putkien lukumäärän tulo. Absorbaattoripinta-ala saadaan absorbaattorin halkaisijan, pituuden ja putkien lukumäärän tulona. (Jodat Ympäristöenergia Oy 2021d)



Kuva 2. Hahmotteleva piirros eri pinta-aloista tyhjiöputkikeräimellä (mukaillen Jodat Ympäristöenergia 2021d)

4.2.2 Tehokkuuden laskenta

Keräimen hyötysuhde voidaan laskea seuraavasta kaavasta:

$$\eta = \eta_0 - k_1 \frac{\Delta T}{E_e} - k_2 \frac{\Delta T^2}{E_e}, \quad (1)$$

missä E_e on auringon säteilyn teho neliometriä kohti [W/m^2],
 k_1 on lineaarinen lämmönläpäisykerroin [W/m^2K],
 k_2 on toisen potenssin lämmönläpäisykerroin [W/m^2K^2],
 η_0 on optinen hyötysuhde,
 η on hyötysuhde ja
 ΔT on ympäristön ja keräimen keskilämpötilan välinen lämpötilaero [K].

Neliömetritheho voidaan puolestaan laskea seuraavasti:

$$P_A = E_e \eta, \quad (2)$$

missä P_A on teho neliometriä kohden [W/m^2].

Moduulitehon taas pystyy selvittämään kaavalla:

$$P_M = E_e \eta A_A, \quad (3)$$

missä P_M on moduulin teho [W] ja
 A_A on keräimen apertuuripinta-ala [m^2].

Yllä mainituista suureista optinen hyötysuhde, apertuuripinta-ala, lineaarinen lämmönläpäisykerroin ja toisen potenssin lämmönläpäisykerroin ilmoitetaan yleensä valmistajan toimesta. Edellä saatuja tunnuslukuja voidaan hyödyntää keräinten vertailuissa. (Jodat Ympäristöenergia Oy 2021d)

5 DATAN TARKASTELU

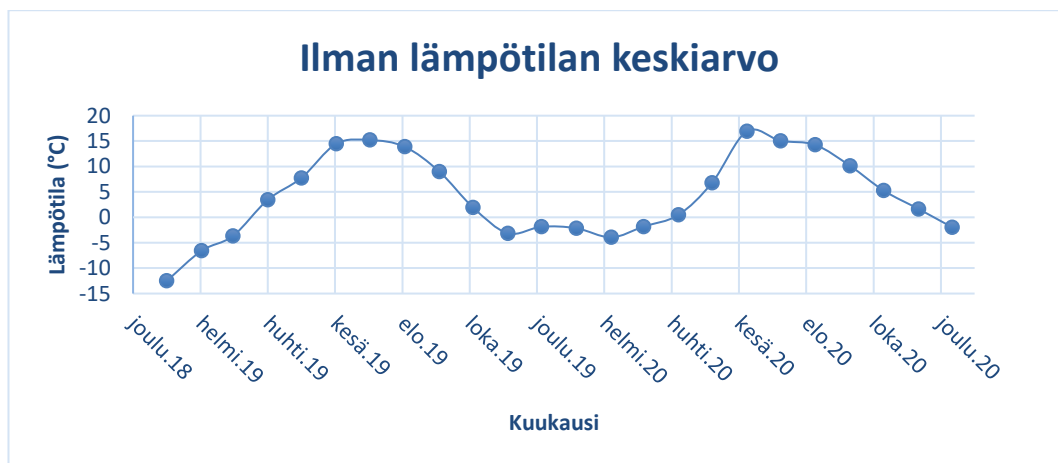
Oulun seudulla toiminnassa olevasta tyhjiöputkikeräimestä saatiin työtä varten dataa vuosilta 2018, 2019 ja 2020. Aineisto sisältää päivämäärän ja vuorokaudessa varaajaan tuotetun energian kilowattitunteina. Tämän lisäksi Ilmatieteen laitoksen verkkosivuilta *Havaintojen Lataus* -osiosta löytyy tietoa säästä ja säteilyn määrästä vuosilta 2019 ja 2020 taulukoituna. Näiden aineistojen tietojen avulla voidaan tutkia aurinkolämpöjärjestelmän tehoon vaikuttavia tekijöitä ja tarkastella mahdollisia syy-seuraussuhteita. (Ilmatieteen laitos 2021e)

5.1 Säädata

Ilmatieteen laitoksen latauspalvelusta löytyi vuorokausikohtaisia säähavaintoja Oulusta Oulunsalo Pellonpään havaintoasemalta. Aineisto käsittää vuodet 2019 ja 2020 ja näihin sisältyi muun muassa lumensyvyys, sademäärä ja ilmanlämpötila, joka on neljän tai kahdeksan mittausajankohdan keskiarvo. (Ilmatieteen laitos 2021b)

5.1.1 Ilman lämpötila

Ilman lämpötila on aineistossa tallennettu jokaiselle päivälle vuosien 2019 ja 2020 ajalle. Kuvaan 3 on laskettu näiden avulla keskiarvo jokaiselle kuukaudelle. Tässä ja tulevissa kuvissa kuukauden keskiarvo on asetettu 15. päivän kohdalle jokaiselle kuukaudelle.

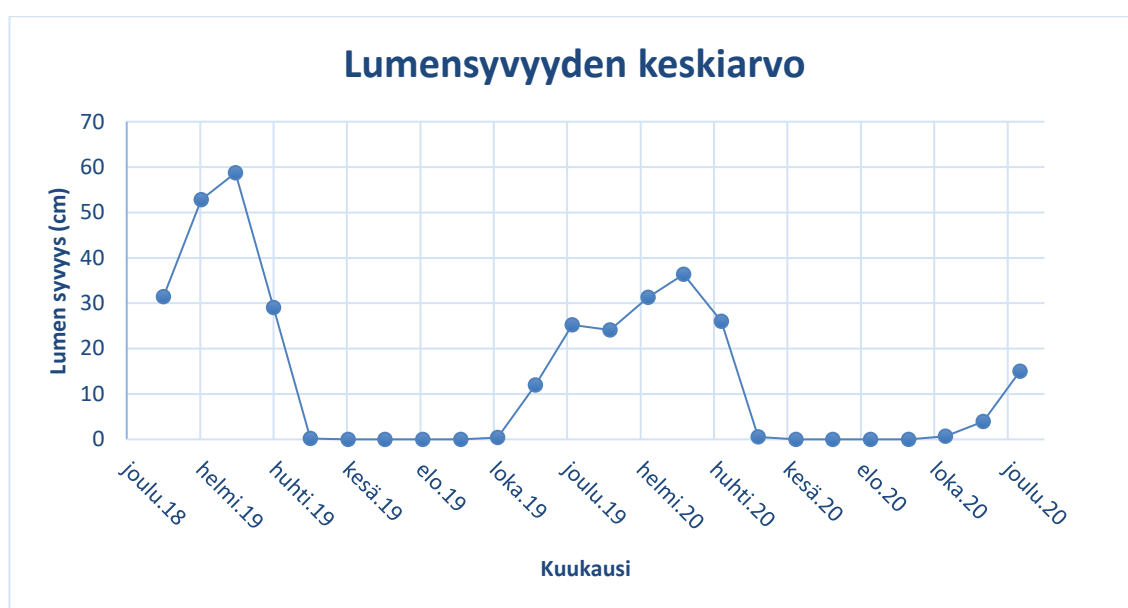


Kuva 3. Keskimääräinen ilman lämpötila Pellonpäässä 2019 ja 2020 kuukautta kohden.

Kuvassa 3 jokainen piste esittää kuukauden keskimääräistä lämpötilaa, joka on laskettu päivittäisistä keskiarvoista. Rajallisen tilan ja selkeyden vuoksi x-akselilla käytetään vain parillisia kuukausia.

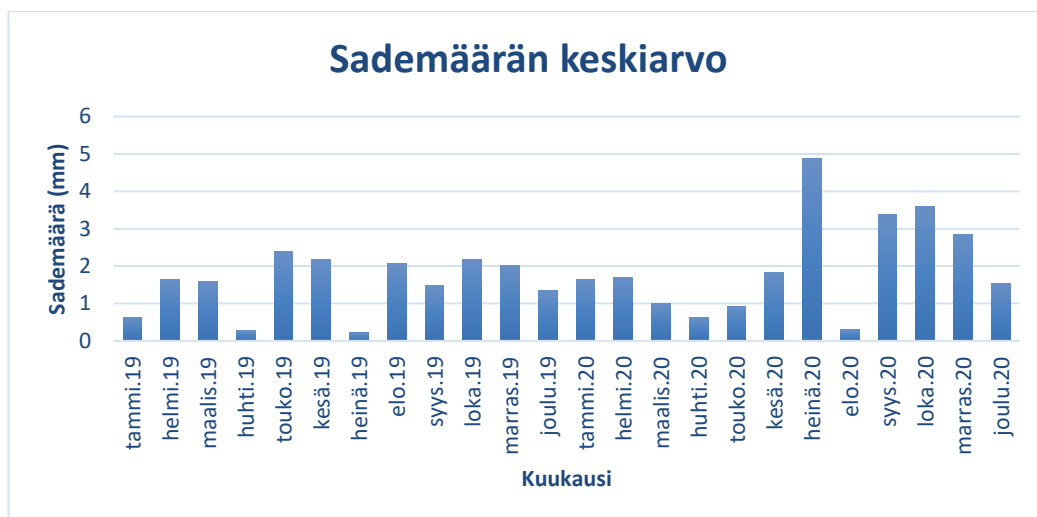
5.1.2 Lumen syvyys ja sademäärä

Tärkein sääkomponentti aurinkojärjestelmän tehon määrittämisessä on lämpötila, mutta lumensyvyys ja sademäärä voivat osaltaan myös edesauttaa hahmottamaan syitä mahdollisille poikkeamille. Kuvassa 4 on esitelty lumensyvyys tutkittavalla aikavälillä.



Kuva 4. Keskimääräinen lumensyvyys 2019 ja 2020 aikana.

Vastaavasti sademäärä on otettavissa huomioon. Kuvassa 5 on havainnollistettu veden ja lumen aiheuttama sademäärä kuukausitasolla. Veden ja lumen tarkastelu erikseen on kannattavaa niiden fysikaalisten ominaisuuksien eroavaisuuden takia.



Kuva 5. Keskimääräinen sademäärä millimetreissä päivän aikana 2019 ja 2020.

5.2 Säteilystä

Saatavilla oleva aineisto säteilylle on kerätty Siikajoen mittauspisteeltä Pohjois-Pohjanmaalla noin sata kilometriä Oulussa sijaitsevasta aurinkokeräimestä etelään. Aineisto käsittää vuodet 2019 ja 2020 kokonaissäteilyn sekä hajasäteilyn osalta. Kokonaissäteily on suoran auringonsäteilyn, hajasäteilyn ja ilmakehän vastasäteilyn summa, josta on vähennetty mittaaajan pinnasta pois päin heijastunut säteily (Erat ym. 2008, s.12). Koska saatavilla olevasta aineistosta puuttuu arvoja osalle näistä suureista, keskityttiin vain kokonaissäteilyn tarkasteluun (kuva 6).



Kuva 6. Keskimääräinen kokonaissäteily päivässä neliometriä kohden kuukausittain.

5.3 Keräimen ominaisuudet

Arvioinnin kohteena tässä työssä on Jodat Ympäristöenergia Oy:n verkkosivuilta löytyvän Shentai SCM 20 -tyhjiöputkikeräimen kaltainen keräin. Erona tähän keräimeen tämän työn keräimellä on tyhjiöputkien määrä, joka on kahdenkymmenen sijaan kahdeksankymmentä. Tämä tarkoittaa sitä, että tehoa määriteltäessä pinta-ala täytyy asettaa nelinkertaiseksi. Taulukossa 1 on esitettyä Ympäristöenergia Jodatin sivuilla olevat arvot Shentai SCM 20 -tyhjiöputkikeräimelle.

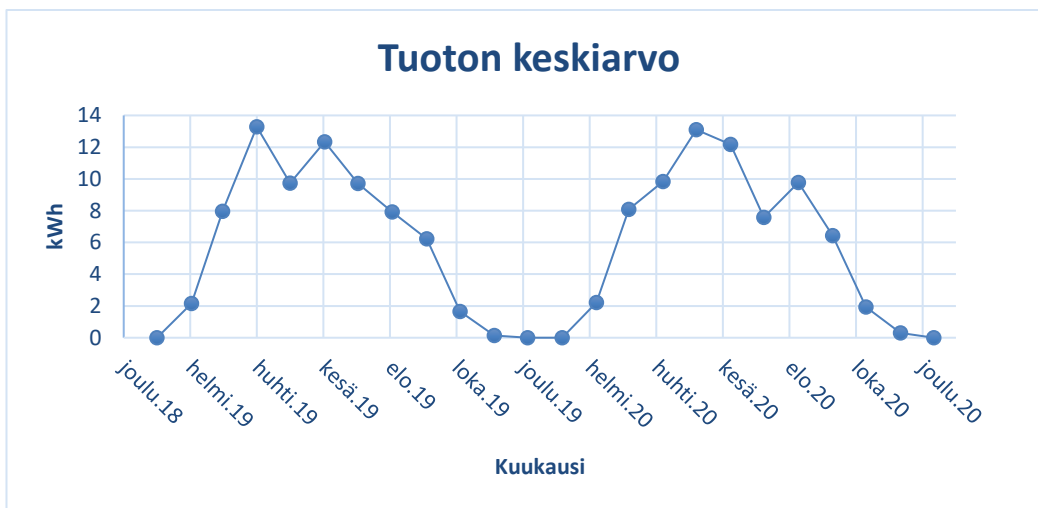
Taulukko 1. Jodat Ympäristöenergia Oy:n sivuilla esitettyjen tietojen perusteella koottu taulukko, jossa on huomioitu nelinkertainen tyhjiöputkien määrä. (Jodat Ympäristöenergia Oy 2021e)

Suure	Arvo	Yksikkö
Bruttopinta-ala	12,412	m ²
Apertuuripinta-ala	7,504	m ²
Absorbaattoripinta-ala	6,412	m ²
Hyötysuhde η_0	0,679	
k1	1,696	W/m ² K
k2	0,0099	W/m ² K ²
Kulmakorjauskerroin	0,93	
Lämpökapasiteetti	14,1	kJ/(m ² K)

Taulukon 1 tietojen lisäksi tiedetään, että keräin on asennettu 75 asteen kulmaan vaakatasoon nähden ja se on suunnattu lounaaseen 220 asteeseen katon harjan suuntaisesti.

5.4 Keräimen data

Oulussa sijaitsevan tyhjiöputkikeräimen dataa on kerätty vuosilta 2018, 2019 ja 2020 taulukoituna Excel-tiedostoon. Vuodelta 2018 olevaa tuottoa vastaavasti ei kuitenkaan löytynyt tarvittavia säteilytietoja, joten analyysiin valittiin vain vuosien 2019 ja 2020 tuotot (kuva 7).



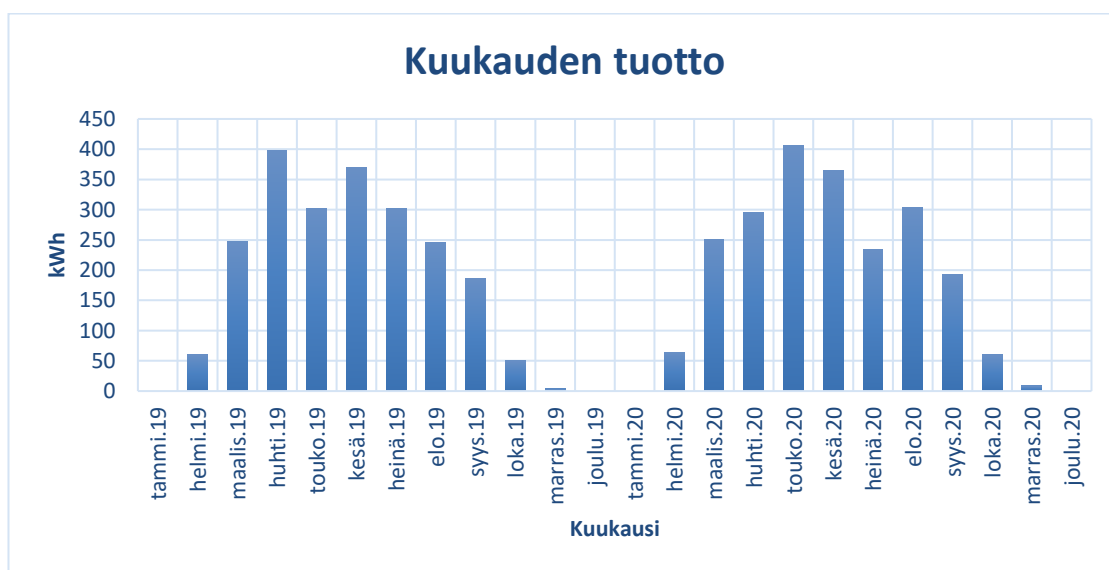
Kuva 7. Keräimen keskimääräinen tuotto (kWh) päivää kohden vuosina 2019 ja 2020.

6 TUOTON SEKÄ TEHON LASKENTA JA TULOKSET

Tässä kappaleessa esitetään aineistosta tehtyjen laskentojen tulokset eli tarkastellun keräimen tuotto ja teho. Näitä tietoja voidaan myöhemmin hyödyntää päätelmien tekemiseen niin aineistosta, kuin sen ulkopuolisista tekijöistä.

6.1 Kuukausituotto

Keräimen kuukausittainen tuotto saadaan laskettua suoraan päivittäin tuotetuista kilowattitunneista, jotka on annettu aineiston mukana (kuva 8).

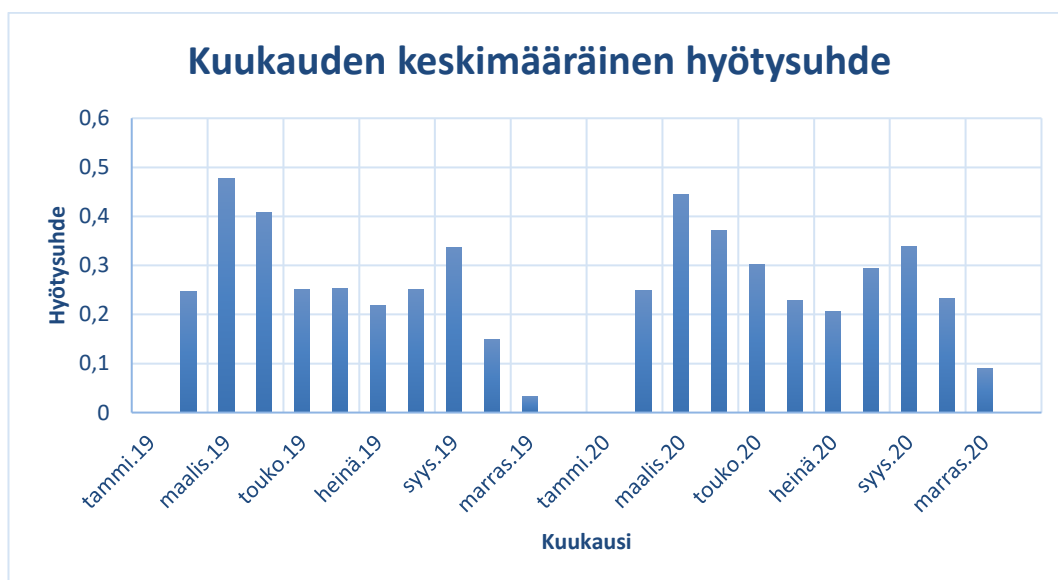


Kuva 8. Kokonaistuotto kilowattitunteina kuukausittain.

Yllä on esitettyä tuottoa kuukautta kohden vuosilta 2019 ja 2020. Grafiikasta on nähtävissä, että paras tuotto saadaan kevään loppupuolella ja kesän alussa. Joulu- ja tammikuussa puolestaan tuottoa ei saada ollenkaan. Koko kahden vuoden ajalta tuottoa kertyy noin 4350 kWh, mikä tarkoittaa suunnilleen 2175 kWh vuosituottoa keskimäärin. Kun keskimääräinen vuosituotto jaetaan apertuuripinta-alalla, saadaan tutkittavan tyhjiöputkikeräimen vuosituotoksi neliometriä kohden noin 290 kWh.

6.2 Hyötysuhde ja teho

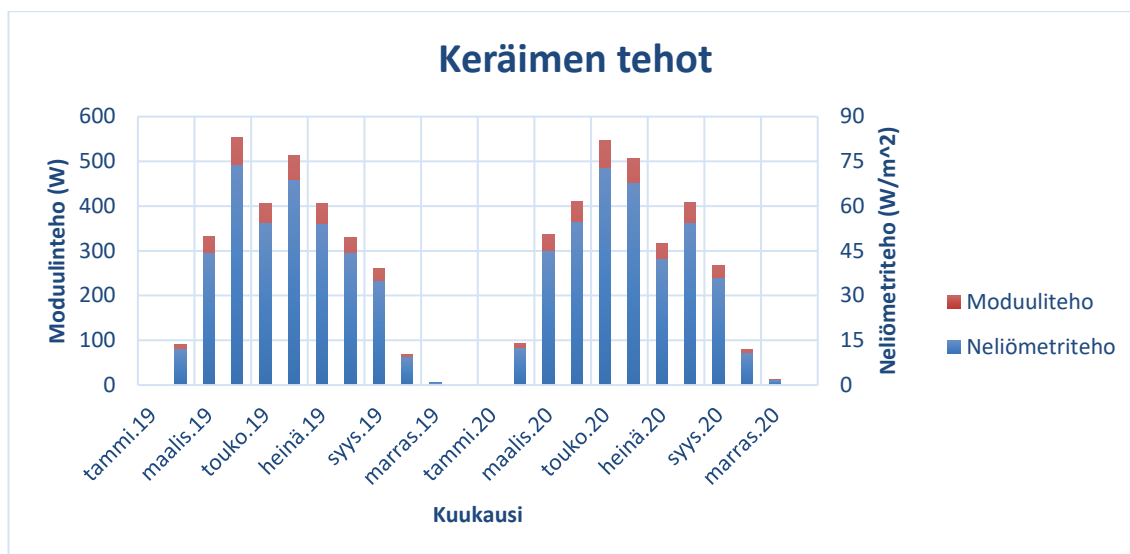
Normaalisti hyötysuhteen ratkaisemiseksi käytetään keräimen hyötysuhteen laskentakaavaa (Kaava 1). Tämä menetelmä kuitenkin vaatii tietoa keräimen sisäisestä lämpötilasta, jota ei tähän työhön ollut saatavilla. Tästä syystä arvioidaan hyötysuhde varaajaan hyödyksi saadun tuoton ja mitatun kokonaissäteilyn avulla (Kuva 9). Mittausaineistossa tuotto on mitattu päivittäin ja kokonaissäteily tunneittain. Jos kokonaissäteilyn tunti-arvot summataan jokaiselta päivältä yhteen, pystytään selvittämään päiväkohtainen hyötysuhde jakamalla tuotto päivän kokonaissäteilyn summalla.



Kuva 9. Hyötysuhteen keskiarvo kuukausittain vuosina 2019 ja 2020.

Yllä olevasta grafiikasta nähdään, että keräimen hyötysuhteen kolme korkeinta arvoa molempina vuosina ovat maaliskuu-, huhtikuu- ja syyskuu. tarkastellaan ainoastaan tuottoisia päiviä, niin hyötysuhteen keskiarvoksi saadaan 0,369.

Kun hyötysuhteen keskiarvo tiedetään, pystytään selvittämään sen neliömetriteho ja moduuliteho kaavojen (2) ja (3) mukaisesti. Kyseiset suureet ovat esitettynä kuvassa 10 kuukauden keskiarvoa käyttäen.



Kuva 10. Keräimen teho keskiarvojen avulla esitettynä.

Kun tutkitaan tehollisten päivien arvoja, **saadaan neliömetritehoksi noin 54 wattia neliömetriä kohden ja modulointehoksi noin 409 wattia.**

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä kappaleessa käydään läpi tuloksia ja mietitään niihin vaikuttavia seikkoja. Lopuksi tehdään yhteenveto käsitellen koko työtä.

7.1 Tuoton analysointi

Kokonaistuotosta huomataan, että keräin tuottaa hyvin vähän tai ei lainkaan keskitalvella. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että päivä on lyhyimmillään joulukuun lopulla, jolloin auringon suorasäteilyä ei kerry keräimen pinnalle toisin kuin alkukesästä valoisaan aikaan. On myös tyypillistä, että talvella lumi peittää kokonaan tai osittain keräimen pinnan, mikä estää säteilyn läpäisyn. Tuoton huomataan nousevan selkeästi maaliskuussa ja laskevan taas syyskuun jälkeen molempina vuosina. Tämä sopisi johtuvan hyvin vuorokauden pituuden muutoksesta, sillä molemmat kevät- ja syyspäiväntasaus mahtuvat näihin kuukausiin. Vuoden 2020 heinäkuussa tuotossa tulee pieni lasku, mikä näyttää johtuvan mahdollisesti pilvisyydestä, koska kyseinen kuukausi on ollut aikajakson sateisin. Keväällä lumesta heijastuva hajasäteily saattaa myös osaltaan selittää kohonnutta tuottoa. Varsinkin vuoden 2020 huhtikuu on ollut erinomainen toteutuneiden kilowattituntien suhteen, mikä tukee tätä teoriaa.

Keskimääräiseksi vuosituotoksi saatu 290 kWh neliometriä kohden on vähemmän kuin Energiakaupan verkkosivuilla on arvioksi esitetty Shentai SCM 20 -keräimelle, joka on 367 kWh neliometrille vuodessa (Jodat Ympäristöenergia Oy, 2021d). Tämä tulos on kuitenkin saavutettu oletettavasti optimaalisissa olosuhteissa, joten on luonnollista, että saatu tuotto on pienempi.

7.2 Hyötysuhde ja tehot

Koska hyötysuhteen laskentaa varten ei tunnettu järjestelmän sisäistä lämpötilaa, piti se arvioida tuoton ja säteilyn perusteella. Tällä tavalla laskettuna hyötysuhde yltää melkein 0,5 tasolle keväällä. Kesäksi hyötysuhde laskee ja nousee taas hieman syyskuussa. Päälimmäisen syyn tähän pystyy löytämään teoriaosiossa esitetystä hyötysuhteen laskentakaavasta (kaava 1). Kun lämpötilaero keräimen ja ulkoilman välillä kasvaa,

hyötysuhde heikkenee. Keskellä kesää auringon säteily lämmittää keräimen nestettä syksyyn ja kevääseen verrattuna huomattavasti kuumemmaksi. Suurten lämpötilaerojen takia lämpöhäviöt kasvavat keräimen nesteessä ja varaajassa. Keväällä ja syksyllä toimintalämpötila pysyy alhaisempana mahdollistaen paremman hyötysuhteen. Tehot puolestaan seuraavat tuottoa samassa suhteessa, koska niihin tarvitaan hyötysuhteen ja säteilyn tuloa.

7.3 Epätarkkuuksien arviointia

Tässä työssä käytettävä aineisto käsittää lämpötilan, kokonaissäteilyn, hajasäteilyn, tuoton, sademäärän ja lumen syvyyden. Tämän lisäksi tiedossa oli keräimen valmistajan ilmoittamat ominaisuudet, asennuskulma, ilmansuunta ja maantieteellinen sijainti. Työssä käytettävää aineistoa koskee tietysti mittausvirheen mahdollisuus, mutta tässä tarkastelussa oletetaan ne mitättömiksi.

Suurin epävarmuus tulosten luotettavuuden kannalta on mittausaineistojen maantieteellisten sijaintien erot. Esimerkiksi Siikajoella mitatut säteilyarvot ovat noin sata kilometriä etelään Oulussa sijaitsevasta keräimestä, jolta data tuoton osalta on tähän työhön saatu. Tässä tehtiin oletamus, että säteily ja sää ovat identtiset molemmissa paikoissa, mikä voi aiheuttaa poikkeamaa todellisista arvoista. Tämän lisäksi kerääjän suuntausta ja kulmaa ei olla otettu huomioon, koska ne vaatisivat erillistä tietoa muista säteilytyypeistä. On siis hyvin todennäköistä, että keräimen pintaan ja havaintoaseman mittalaitteen pintaan on kohdistunut eri määrä säteilyä. Ero sijoittumisessa etelä-pohjoissuunnassa aiheuttaa myös sen, että päivän pituus ei ole sama, jolloin siitäkin syystä säteilyt eivät ole identtisiä.

Epätarkkuuksien minimoimiseksi tulisi tuntea kaikki käyttöjärjestelmän ominaisuudet ja tehdä mittaukset keräimen läheisyydessä, mutta tämän työn kaltaisissa katsauksissa näiden suorittaminen on haastavaa. Työssä tutkittavana kohteena oli omakotitalon tyhjiöputkikeräin, jota käytetään lämmityskulujen vähentämiseen. Tällaiseen käyttökohteeseen liitettynä tyhjiöputkikeräimen tehokkuutta voidaan arvioida riittävän hyvin esitetyistä epätarkkuustekijöistä huolimatta.

8 YHTEENVETO

Tämän työn aiheena oli tyhjiöputkikeräin ja sen tehokkuuden tarkastelu. Työn alussa selvitettiin asiaa teorian avulla. Pääpainona teoriaosuudessa oli keräinjärjestelmän toiminnan ja erityisesti tyhjiöputkikeräinmallin tarkastelussa. Työn kokeellisessa osuudessa esiteltiin ensin käytettävä data, jonka jälkeen siirryttiin analyysiin ja tuloksiin. Vaikka työssä saatuihin tuloksiin liittyy erilaisia epävarmuustekijöitä, pystyy mittauksia tulkitsemaan hyvin esimerkiksi vertaamalla kuukausia toisiinsa keskiarvojen perusteella. Mielenkiintoista olisi ollut vertailla useammalta vuodelta saatuja tuloksia keskenään, mutta datan haasteellisen saatavuuden vuoksi päädyttiin vain 2019 ja 2020 vuosien materiaalien tutkimiseen. Näiden perusteella saatiin laskettua hyötysuhteeksi 0,369, neliömetrittehoksi 54 wattia ja moduulitehoksi 409 wattia.

Kokonaisuudessaan tyhjiöputkikeräimistä löytyi yllättävän vähän teknistä tietoa alkuoletukseen nähden. Tämä tulee kuitenkin muuttumaan tulevaisuudessa todennäköisesti. Uusiutuvat energiamuodot ovat yhä enemmän julkisessa keskustelussa mukana, minkä seurauksena erilaiset aurinkokeräimet, kuten tyhjiöputkikeräin saavat enemmän huomioita.

LÄHDELUETTELO

Alternative Energy Tutorials, Solar Hot Water, Evacuated Tube Collector [Verkkodokumentti]. Saatavilla: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/evacuated-tube-collector.html> [Viitattu 28.3.2021]

Ekolämmöx, 2021. Tietopaketit, Hybridilämmitys [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://ekolammox.fi/tietopaketit/hybridilammitys/> [Viitattu 13.3.2021]

Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi H., 2008, Aurinko-opas Aurinkoenergiaa rakennuksiin, Aurinkoteknillinen Yhdistys ry

Erkkilä, V., 2003, Aurinkolämpöopas rakentajille ja suunnittelijoille, Kustantajat Sarmala Oy

Fondriest Environmental, 2014. Environmental Measurements, Solar Radiation and Photosynthetically Active Radiation [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/weather/photosynthetically-active-radiation/> [Viitattu 26.5.2021]

Jodat Ympäristöenergia Oy, a, 2021, Aurinkolämpö, Aurinkokeräin [Verkkodokumentti]. Saatavilla: https://www.energiakauppa.com/epages/energiakauppa.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014082005/Categories/Aurinkolaempoe/Aurinkokeraein [Viitattu 14.3.2021]

Jodat Ympäristöenergia Oy, b, 2021, Aurinkolämpö, Ohjausyksikkö [Verkkodokumentti]. Saatavilla: <https://www.energiakauppa.com/Aurinkolampojarjestelman-ohjausyksikko> [Viitattu 24.3.2021]

Jodat Ympäristöenergia Oy, c, 2021, Aurinkolämpö, Paisunta-astia [Verkkodokumentti]. Saatavilla: https://www.energiakauppa.com/epages/energiakauppa.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014082005/Categories/Aurinkolaempoe/Paisuntaastia [Viitattu 10.4.2021]

Jodat Ympäristöenergia Oy, d, 2021, Aurinkolämpö, Aurinkokeräin, Teho ja tuotto [Verkkodokumentti]. Saatavilla: <https://www.energiakauppa.com/Verkko-aurinkosaehkoe/Yleistae-aurinkolaemmoestae/Teho-ja-tuotto-1> [Viitattu 11.4.2021]

Jodat Ympäristöenergia Oy, e, 2021, Aurinkolämpö, Aurinkokeräin, Teho ja tuotto, SCM 20 [Verkkodokumentti]. Saatavilla: https://www.energiakauppa.com/WebRoot/vilkasfi01/Shops/2014082005/MediaGallery/pdf/Hyotysuhde_ja_tehokayrat_Zhejiang_Shentai_SCM_20.pdf [Viitattu 25.5.2021]

Motiva, a, 2020. Ratkaisut, Uusiutuva energia, Aurinkolämpö, Aurinkolämpöjärjestelmät [Verkkodokumentti]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat [Viitattu 13.3.2021]

Motiva, b, 2020. Ratkaisut, Uusiutuva energia, Aurinkolämpö, Aurinkolämpöjärjestelmän käyttö [Verkkodokumentti]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelman_kaytto [Viitattu 13.3.2021]

Motiva, 2020c. Ratkaisut, Uusiutuva energia, Aurinkolämpö, Aurinkolämpöjärjestelmät, Kytkenä muihin lämmitysjärjestelmiin [Verkkodokumentti]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/kytkenta_muihin_lammitysjarjestelmiin [Viitattu 13.3.2021]

Motiva, d, 2020. Ratkaisut, Uusiutuva energia, Aurinkolämpö, Aurinkolämpöjärjestelmät, Nestekiertoiset keräimet [Verkkodokumentti]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet [Viitattu 13.3.2021]

Motiva, e, 2020. Ratkaisut, Uusiutuva energia, Aurinkolämpö, Aurinkolämpöjärjestelmät, Ilmakeräimet [Verkkodokumentti]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/ilmakeraimet [Viitattu 13.3.2021]

Motiva, f, 2020. Ratkaisut, Uusiutuva energia, Aurinkolämpö, Aurinkolämpöjärjestelmät, Nestekiertoiset keräimet, Tasokeräimet [Verkkodokumentti]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/tasokeraimet [Viitattu 13.3.2021]

Motiva, g, 2020. Ratkaisut, Uusiutuva energia, Aurinkolämpö, Hankinta ja asennus, Aurinkolämpöjärjestelmän sijoittelu [Verkkodokumentti]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/hankinta_ja_asennus/aurinkolampojarjestelman_sijoittelu [Viitattu 10.4.2021]

Motiva, h, 2020. Ratkaisut, Uusiutuva energia, Aurinkolämpö, Aurinkolämpöjärjestelmät, Nestekiertoiset keräimet, Tyhjiöputkikeräimet [Verkkodokumentti]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/tyhjioputkikeraimet [Viitattu 25.5.2021]

Ilmatieteen laitos, a, 2021. Säähavainnot Oulu Oulunsalo Pellonpää 2019 [Verkkodokumentti]. Aineistoa muokattu, Saatavilla: <https://cdn.fmi.fi/fmiodata-convert-api/preview/a9f8dd9b-ed5e-4d92-9d16-5b4d4101032a/?locale=fi> [Viitattu 26.5.2021]

Ilmatieteen laitos, b, 2021. Säähavainnot Oulu Oulunsalo Pellonpää 2020 [Verkkodokumentti]. Alkuperäinen Aineisto, Saatavilla: <https://cdn.fmi.fi/fmiodata-convert-api/preview/3d95fb60-60ef-410b-9692-75574eef0893/?locale=fi> [Viitattu 26.5.2021]

Ilmatieteen laitos, c, 2021. Säteilyhavainnot Siikajoki Ruukki 2020 [Verkkodokumentti]. Alkuperäinen Aineisto, Saatavilla: <https://cdn.fmi.fi/fmiodata-convert-api/preview/6dfc01f8-1cf4-4ff0-b404-f73e89f61d1c/?locale=fi> [Viitattu 26.5.2021]

Ilmatieteen laitos, d, 2021. Säteilyhavainnot Siikajoki Ruukki 2019 [Verkkodokumentti]. Alkuperäinen Aineisto, Saatavilla: <https://cdn.fmi.fi/fmiodata-convert-api/preview/6dfc01f8-1cf4-4ff0-b404-f73e89f61d1c/?locale=fi>

convert-api/preview/b6eff07f-1f0b-4e80-a999-4ed9ccba726f/?locale=fi [Viitattu 26.5.2021]

Ilmatieteen laitos, e, 2021. Sää ja meri, Havaintojen lataus, Neuvoja havaintosuureisiin [Verkkodokumentti]. Saatavilla: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/neuvoja-havaintosuureisiin> [Viitattu 16.5.2021]

Onosi, 2021, Heat pipe solar collector [Verkkodokumentti]. Saatavilla: <https://www.onosisolar.com/solar-collectors/> [Viitattu 31.8.2021]